

**АЛГОРИТМ РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ
СПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ
КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ
УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОМ
ДЕФОРМИРОВАНИИ**

Дорофеева И.А., Луганцев Л.Д., Сайтова Я.А.
Московский государственный университет
инженерной экологии

Характерной особенностью работы современного оборудования является нестационарность силового и температурного воздействия. Повторные воздействия механической нагрузки и нестационарного температурного поля вызывают в ряде случаев циклическое упругопластическое деформирование элементов конструкций и приводят к накоплению усталостных и квазистатических повреждений.

При построении математической модели кинетики процесса упругопластического деформирования вводим параметр τ , определяющий

$$\{\Delta \varepsilon\} = \left([B^e] + [B^p] \right) \{\Delta \sigma\} + \{F_T\} \Delta T, \quad (1)$$

Программу нагружения разбиваем на ряд малых этапов, расчет которых выполняем последовательно. Модель изделия представляем в виде совокупности узловых точек, количество и расположение которых зависит от характерных особенностей конструкции и требуемой точности расчета. Каждой узловой точке ставим в соответ-

ствие параметр $plast$ (признак пластичности), который принимает значение 0, если в рассматриваемой точке материал деформируется упруго, или 1, если имеет место пластическое течение.

Для всех узловых точек рассматриваемой конструкции вводим в рассмотрение вектор состояния [1]:

$$\{Z\} = \left[\sigma_1 \quad \sigma_2 \quad \sigma_3 \quad \varepsilon_1 \quad \varepsilon_2 \quad \varepsilon_3 \quad \varepsilon_1^p \quad \varepsilon_2^p \quad \varepsilon_3^p \quad \varepsilon_p^* \quad \chi_1 \quad \chi_2 \quad \chi_3 \right].$$

Совокупность значений этих векторов полностью характеризует напряженно-деформированное состояние исследуемой конструкции. Начальный вектор состояния $\{Z_0\}$ полагаем заданным.

Расчет рассматриваемой конструкции шаговым методом включает две основных процедуры.

Первая процедура связана с решением краевой задачи. Полагая известными компоненты векторов состояния в начале очередного n -го этапа нагружения, вычисляем физико-механические характеристики конструкционного материала в этой точке процесса τ и выполняем решение краевой задачи. В процессе решения краевой задачи формирования матриц $[B^e]$ и $[B^p]$ в уравнении (1) выполняем с учетом текущих значений параметров материала. В результате решения находим приращения напряжений и деформаций $\Delta \sigma_j$, $\Delta \varepsilon_j$ на n -м этапе во всех узловых точках конструкции.

Вторая процедура связана с анализом параметров состояния в узловых точках конструкции в конце n -го этапа нагружения. В упругих

точках ($plast = 0$) проверяем условие пластичности

$$A_i < H_e - \delta, \quad (2)$$

где A_i - интенсивность активных напряжений; $2H_e$ - мгновенная ширина упругой области на обобщенной диаграмме деформирования; δ - заданная величина допустимой погрешности.

Если условие (2) выполняется, точка остается упругой. Для точек, где выполняется условие

$$H_e - \delta < A_i < H_e + \delta, \quad (3)$$

полагаем $plast = 1$ и повторно решаем краевую задачу с учетом внесенных изменений.

В пластических узловых точках ($plast = 1$) проверяем выполнение условий развития пластического течения. Если для части точек эти условия не выполняются, что означает упругую разгрузку, принимаем для них $plast = 0$ и повторно решаем краевую задачу.

Если все указанные условия выполняются, вычисляем компоненты вектора состояния в конце рассматриваемого n -го этапа нагружения и переходим к расчету следующего этапа.

Выполнив решение задачи, находим значения векторов состояния $\{Z\}$ во всех узловых точках на заданном интервале изменения параметра τ , получая полное описание кинетики неизоотермического упругопластического деформирования конструкции.

Численная реализация предложенного метода расчета осуществлена в виде программного комплекса, предназначенного для применения в отраслевых САПР. С его помощью можно выполнять компьютерный мониторинг несущей способности и ресурса изделий, прогнозировать их долговечность в условиях нестационарного силового и температурного воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Термопрочность деталей машин. Под ред. И.А. Биргера и Б.Ф. Шорра. М., "Машиностроение". 1975. 455 с., ил.

К РЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНОМУ ФЛУОРЕСЦЕНТНОМУ АНАЛИЗУ НЕНАСЫЩЕННЫХ (ПЛЕНОЧНЫХ) ОБРАЗЦОВ

Дуймакаев Ш.И., Дубинина Ю.А.,
Сорочинская М.А., Цветянский А.Л.

*Ростовский государственный университет
Ростов-на-Дону, Россия*

Метод РСФА является наиболее перспективным для анализа элементного состава слоев «микронных» толщин, не доступных зондированию в рамках оже-, фотоэлектронной, рентгенов-

$$I_i^{испр} = I_i^{изм} \left(1 - \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}^* \Delta C_j - \alpha_{im} \Delta m \right). \quad (2)$$

Эксперимент на математической модели в приближении возбуждения флуоресценции смешанным рентгеновским первичным излучением подтвердил корректность развизаемого подхода.

Элементами образцов служили Cr, Fe, Ni, Ir . Коэффициенты межэлементных влияний находили путем численного дифференцирования с использованием модели «сжимаемого образца» [2]. При этом значение приращения ΔC_j влияющего элемента принято 0,0045 (0,45%). Приращение поверхностной плотности на этапе расчета коэффициентов влияния α_{im} (при фиксированном элементном составе образца) принято $0,00005 \text{ г/см}^2$.

Основная информация о составе и поверхностной плотности образца сравнения (ОС) и соответствующих гипотетических образцов для расчета коэффициентов межэлементных влияний приведена в табл.

ской (с протонным и электронным возбуждением) спектроскопии.

Однако отсутствие стандартных пленочных образцов (и исключительная сложность изготовления градуировочных ненасыщенных слоев в лабораториях) резко ограничивает возможности использования существующих способов РСФА. В связи с этим повышается роль способов, основанных на теоретическом учете матричных эффектов, величина которых зависит от толщины исследуемой пленки.

Применительно к РСФА ненасыщенных (пленочных) образцов по аналогии с работой [1] обоснованы уравнения связи вида

$$I_i^{испр} = I_i^{изм} \frac{1 - \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}^* \Delta C_j}{1 + \alpha_{im} \Delta m}, \quad (1)$$

где α_{ij}^* - коэффициенты межэлементных влияний, характеризующие относительное изменение интенсивности флуоресценции элемента i при единичном изменении только самого содержания влияющего элемента j (т.е. коэффициенты, вычисленные в идеализированном предположении постоянства поверхностной плотности m образца);

$\alpha_{im} = \frac{1}{I_i} \cdot \frac{\partial I_i}{\partial m}$ - коэффициенты влияния поверхностной плотности образца.

В случае слабоизменяющегося элементного состава и поверхностной плотности образцов уравнения связи принимают вид

Рассчитанные интенсивности флуоресценции имитировали измеренные величины для следующих экспериментальных условий: рентгеновская трубка с W-анодом, напряжение – 40 кВ, толщина бериллиевого окна 0,125 мм, углы падения и выхода излучения - $\varphi = 35^\circ$, $\psi = 65^\circ$.

Нулевое приближение для содержаний компонентов находили методом прямого внешнего стандарта

$$C_i^0 = C_i^{oc} \frac{I_i}{I_i^{oc}}. \quad (3)$$

Окончательные значения искоемых содержаний C_i определяли с использованием уравнений вида (1) и метода итераций. При этом число шагов (итераций) не превышало пяти.

Диапазон изменения содержания элементов в «анализируемых» образцах 20-25% (Cr, Fe, Ni), 25-40% (Ir), диапазон изменения поверхностной плотности образцов – $0,00007 - 0,0002 \text{ г/см}^2$.